

牡丹籽油的脂肪酸组成及理化特性分析

毛程鑫¹, 李桂华¹, 李普选², 祝品¹, 康雪梅¹

(1. 河南工业大学粮油食品学院, 河南郑州 450001) (2. 郑州远洋油脂工程技术有限公司, 河南郑州 450000)

摘要: 实验在分析测定牡丹籽油的理化特性指标的基础上, 采用气相色谱仪分析了牡丹籽油的脂肪酸组成含量, 其不饱和脂肪酸含量高达 92.00%。这些不饱和脂肪酸主要以油酸、亚油酸、亚麻酸为主, 含量分别为 23.92%、27.58%、40.50%; 采用棒状薄层色谱-氢火焰离子化检测器测得牡丹籽油中除游离脂肪酸外, 含有 95.89%的甘油酯和 4.11%的甘油二酯; 猪胰脂酶水解分析牡丹籽油的 Sn-2 脂肪酸组成, 结合 1, 3-随机-2-随机分布学说计算出牡丹籽油甘油酯组成。牡丹籽油中主要是以油酸、亚油酸和亚麻酸为主的甘油酯, 其中三不饱和脂肪酸甘油酯的含量达到 71.00%以上, 一饱和二不饱和脂肪酸甘油酯含量大于 15.00%; 高压液相色谱法测定牡丹籽油中维生素 E 总含量为 0.56 mg/g; Rancimat 法测定的氧化稳定性结果为 110 °C, 2.85 h。为牡丹籽油的进一步研究和深度开发利用提供参考依据。

关键词: 牡丹籽油; 理化特性; 脂肪酸组成; 维生素 E; 氧化稳定性

文章编号: 1673-9078(2014)4-142-146

Analysis of Triglycerides Composition Structure and Physicochemical Properties of Peony Seed Oil

MAO Cheng-xin¹, LI Gui-hua¹, LI Pu-xuan², ZHU Pin¹, KANG Xue-mei¹

(1. College of Food Science and Technology, Henan University of Technology College, Zhengzhou 450001, China)

(2. Zhengzhou ocean oil engineering technology Co., Ltd, Zhengzhou 450000, China)

Abstract: The physical and chemical properties of the peony seed oil, the fatty acid compositions were analyzed by using gas chromatography. The relative content of unsaturated fatty acids was more than 92.00%, mainly consisted of oleic acid (23.92%), linoleic acid (27.58%) and linolenic acid (40.50%). Except free fatty acids, the content of the triglycerides were about 95.89% and the diacylglycerols were about 4.11% in the peony seed oil. By the method of pancreas lipase hydrolysis, the Sn-2 position fatty acids were analyzed and the triglycerides composition of peony seed oil were calculated according to 1,3-random-2-random distribution doctrine. The majority compound in peony seed oil was triacylglycerol which was made up of oleic acid, linoleic acid and linolenic acid. Among them, the content of three unsaturated fatty acid esters was 71.00%, and a saturated and two unsaturated fatty acid ester contents were more than 15.00%. HPLC analysis showed that vitamin E content of the peony oil was 0.56 mg/g. Rancimat determination showed that oxidation stability of the oil was somewhat low (2.85 h at 110 °C).

Key words: peony seed oil; physicochemical properties; fatty acid composition; vitamin E; oxidation stability

牡丹 (*Paeonia suffruticosa* Andr.) 属毛茛科芍药属灌木, 种植区域分布广泛, 但主要以河南洛阳、山东菏泽种植最多, 牡丹长久以来大多用于观赏, 其药用价值为人们所熟知。

牡丹籽是牡丹开花后的种籽, 产量高, 出油率可达 25~30%^[1], 但其一直作为副产品而没有得到合理的利用, 在民间常用于治疗腰腿疼痛, 具有消炎止痛作用。牡丹籽成分很多, 其提取物也相当丰富, 富含人

收稿日期: 2013-11-29

作者简介: 毛程鑫 (1987-), 男, 在读硕士研究生, 研究方向粮食、油脂与植物蛋白工程

通讯作者: 李桂华 (1952-), 男, 教授, 研究方向油脂蛋白综合研究

体需要的氨基酸、维生素、多糖和不饱和脂肪酸, 极具开发价值。目前人们已利用各种不同的方法提取牡丹籽油, 如低温压榨法, 浸出法、超临界二氧化碳萃取法, 微波、超声波处理法, 水酶法等, 牡丹籽油的研究已逐渐成为人们的研究热点。研究表明^[2-4]牡丹籽油富含不饱和脂肪酸, 含量高达 89.00%以上, 而多不饱和脂肪酸亚油酸和亚麻酸的含量分别在 25.00%和 40.00%左右, 这是两种对人体健康特别重要的必需脂肪酸。且有研究表明, 亚油酸有抑制胆固醇合成、调节血压、抗氧化、抗癌、预防糖尿病的作用。 γ -亚麻酸为当今世界上最优良的降脂、降压产品, 其在减轻心脑血管发病率和降低血脂方面的疗效比一般的防治

药物高出 5 倍^[5-6]。

有关牡丹籽油的组成结构及理化特性的分析,国内外报导较少,为此本文对压榨牡丹籽油的主要理化指标进行了分析,采用气相色谱-质谱联用仪、气相色谱仪、棒状薄层色谱—氢火焰离子化检测器、近代仪器和经典分析方法,分析牡丹籽油的理化特性和脂肪酸组成、甘油酯含量、Sn-2 位脂肪酸组成及甘三酯结构,并采用高压液相色谱仪和 Rancimat 仪测定维生素 E 含量及氧化酸败时间。为牡丹籽油的进一步研究和深度开发利用提供参考依据。

1 材料与amp;方法

1.1 原料来源

牡丹籽油,菏泽尧舜生物技术有限公司。

1.2 试剂与amp;仪器装置

1.2.1 试剂

无水乙醚、乙醇(体积分数 95%)、氢氧化钾、氢氧化钠、盐酸、石油醚、三氯甲烷、冰乙酸、可溶性淀粉、碘化钾、硫代硫酸钠、三氟化硼、氯化钠、韦氏试剂、正己烷、胆酸钠、无水硫酸钠甲醇钠、异丙醚、正己烷(色谱纯)、甲醇(色谱纯)等。未标明的均为分析纯。

维生素 E 标准品: α -生育酚、 β -生育酚、 γ -生育酚、 δ -生育酚、 α -生育三烯酚、 β -生育三烯酚、 γ -生育三烯酚、 δ -生育三烯酚,均为 Sigma 公司产品。

1.2.2 仪器和装置

罗维朋比色仪(WSL-1),北京光学仪器厂;阿贝折光仪,石家庄光学仪器厂;101 系列鼓风干燥箱,上海胜启仪器仪表恒设备有限公司;棒状薄层色谱-氢火焰离子化检测器(TLC-FID),日本岛津公司;气相色谱仪 2010 型,日本岛津公司;高压液相色谱仪(HPLC):Waters e2695 型,日本岛津公司;分析天平(感量 0.0001 g):北京塞多利斯天平有限公司;Rancimat743 型,瑞士万通公司。

1.3 分析测定的方法

1.3.1 牡丹籽油理化指标的测定

相对密度按照 GB/T 5526-1985 执行;折射指数按照 GB/T 5527-2010 执行;色泽按照 GB/T 22460-2008 执行;酸价参照 GB/T 5530-2005 执行;水分及可挥发物参照 GB/T 5528-2008 执行;皂化值按照 GB/T 5534-2008 执行;过氧化值参照 GB/T 5538-2005 执行;碘价参照 GB/T 5532-2008 执行。

1.3.2 牡丹籽油脂肪酸组成分析

甲酯化方法^[7]:

取 150 mg 油样于 50 mL 的圆底烧瓶中,加入 6 mL 0.5 mol/L 的氢氧化钠甲醇溶液,摇匀。连接回流装置加热回流至油珠完全消失,然后从冷凝管上端加入 7 mL 20% (质量分数)的三氟化硼甲醇溶液,继续回流 1 min。再加入 3 mL 的正己烷,再回流 1 min。然后取下烧瓶,加入一定量的氯化钠饱和溶液,轻轻上下颠倒数次,静置分层。取上清液于试管中,加入一定量的无水硫酸钠,得到甲酯化样品以备气相色谱分析。

气相色谱分析条件

检测器:FID;毛细管柱:BPX-70;色谱柱:120 m \times 0.25 mm \times 0.25 μ m;柱温:180 $^{\circ}$ C,进样口温度:210 $^{\circ}$ C,检测器温度:230 $^{\circ}$ C;检测器压力:307.0 kPa;H₂流量:47 mL/min;空气流量:400 mL/min;柱流量:1 mL/min;进样量:1.0 μ L。

1.3.3 牡丹籽油中甘油酯含量的测定

实验采用棒状薄层色谱—氢火焰离子化检测器(TLC-FID)定量检测牡丹籽油中甘油酯含量。取 1 滴油样于小试管中,将样品用 1 mL 的正己烷溶解,取 1 μ L 样品点于薄层色谱棒上,在正己烷/无水乙醚/冰乙酸(55:15:1, V/V/V)溶剂体系中展开,然后放入 FID 装置中进行分析。

TLC-FID 分析条件:氢气流速:90 mL/min;空气流速:2.0 L/min;扫描速度:30 s/棒;

1.3.4 牡丹籽油的 Sn-2 位脂肪酸分布^[7]

用 1 mL 正己烷溶解 0.2 g 油样在薄层板上展开,展开、显色后刮下甘三酯部分与试管中,加入 4 mL 1 mol/L Tris-盐酸缓冲液,再加入 0.02 g 猪胰脂酶,2 mL 缓冲液,0.5 mL 胆酸钠溶液及 0.2 mL 氯化钙溶液,摇匀后置于 40 $^{\circ}$ C 的恒温水浴锅中保温 1 min 后强烈振荡 2 min,分别加入 1 mL 盐酸和乙醚离心分离,取离心管的上清液,经薄层层析显色确定甘一酯,对甘一酯进行甲酯化后经气相色谱分析 Sn-2 位脂肪酸组成。利用 1,3-随机-2-随机分布学说计算甘三脂的构成及含量。气相色谱分析 Sn-2 位脂肪酸组成方法参照 1.3.2 节。

1.3.5 HPLC 分析

1.3.5.1 HPLC 分析条件

色谱柱:Sunfire 硅胶柱(4.6 \times 250 mm \times 5.0 μ m);检测器:Waters2475 荧光检测器,激发波长:298 nm,发射波长:325 nm;流动相:正己烷:异丙醚=87:13, (V/V);流速:0.8 mL/min;进样量:5 μ L。

1.3.5.2 分析方法

准确称取 0.5 g 油样置于 10 mL 容量瓶当中,并

用正己烷(色谱纯)定容,摇匀后再过0.45 μm有机滤膜,得到的样品然后用液相色谱仪进行分析。

定性分析:用α、β、γ、δ四种生育酚和α、β、γ、δ四种生育三烯酚标样的保留时间定性。

定量分析:用外标法定量,即根据牡丹籽油测定的生育酚峰面积,结合标准样计算其含量。

1.3.6 牡丹籽油的氧化稳定性测定

实验采用743型Rancimat油脂氧化稳定测定仪测定样品氧化稳定性^[8]。分析条件:样品用量:5.0 g;温度:110 ℃;空气流量:20 L/h;电导范围:0~500 uS/cm。

2 结果与讨论

2.1 牡丹籽油的理化特性指标

根据1.3.1提供的方法测定牡丹籽油的理化特性指标如表1所示。

表1 牡丹籽油的理化指标分析

Table 1 The physical and chemical parameter analysis of peony seed oil

seed oil	
名称	浸出牡丹籽油
水分及可挥发物/%	0.14±0.02
折光指数(nD 20 ℃)	1.471±0.08
相对密度/d ₂₀ ²⁰	0.9192±0.11
酸价/(mg/g)	24.44±0.14
过氧化值/(mmol/kg)	7.34±0.01
皂化值/(meqKOH/g)	178.29±0.03
碘值/(g/100g)	175.61±0.20
罗维朋比色/25.4 槽	黄 35 红 2 灰 1

表1结果知:牡丹籽油酸价高达到24.44 mg/g,超过了食用植物油的酸值指标,因此在精炼、加工、储运牡丹籽油的过程中,应注意防止其氧化酸败。过氧化值是评价油脂氧化程度的重要指标,食用植物油国际标准和我国各级别食用油质量指标规定过氧化值不超过10 mmol/kg。从表格中中可以看,牡丹籽油过氧化值符合规定。牡丹籽油的皂化值高说明脂肪酸的分子量小,比较容易被吸收。牡丹籽油碘值在175.61 g/100g以上,说明牡丹籽油的不饱和程度很高,含有大量双键,是一种干性很好的油脂。

2.2 牡丹籽油的脂肪酸组成分析

按照1.3.2节所述方法将牡丹籽油样品甲酯化处理,然后进行气相色谱分析,所得色谱图见图1。所得图谱结合脂肪酸标样的保留时间定性,峰面积归一

化定量,结果如表2所示。

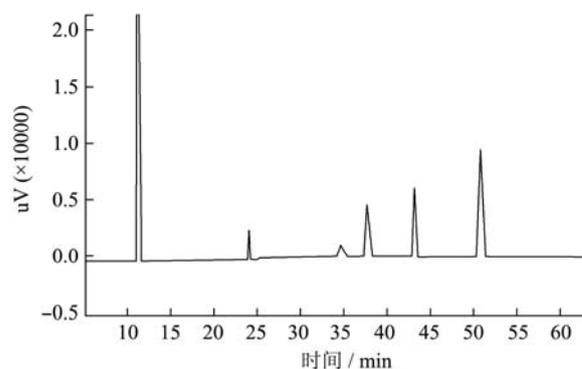


图1 牡丹籽油脂肪酸组成气相色谱图

Fig.1 Gas chromatogram of fatty acid composition in peony seed oil

表2 牡丹籽油的主要脂肪酸组成

Table 2 The fatty acid composition in peony seed oil

序号	保留时间/min	化合物	相对含量/%
1	24.367	棕榈酸(C16:0)	6.11±0.26
2	34.910	硬脂酸(C18:0)	1.89±0.001
3	37.882	油酸(C18:1)	23.92±0.03
4	43.538	亚油酸(C18:2)	27.58±0.001

由表2可以看出牡丹籽油的主要脂肪酸组成为棕榈酸、硬脂酸、油酸、亚油酸和亚麻酸,其中饱和脂肪酸占8.00%,为棕榈酸6.11%、硬脂酸1.89%;不饱和脂肪酸高达92.00%,其中油酸23.92%,人体必需脂肪酸亚油酸27.58%、亚麻酸40.50%,表明牡丹籽油是一种富含亚麻酸的食用植物油脂。

2.3 甘油酯含量的测定

在牡丹籽油理化指标和脂肪酸组成测定的基础上,为了进一步了解其甘油酯的组成,采用1.3.4节所述方法分析测定牡丹籽油中甘油酯的含量。结果表明牡丹籽油中除游离脂肪酸外,含有95.89%的甘三酯和4.11%的甘二酯。甘三酯含量和其他食用油脂相比,没有太大区别。

2.4 牡丹籽油甘三酯组成分析

按照1.3.4节所述方法分析牡丹籽油Sn-2位脂肪酸组成,根据脂肪酸标样定性,峰面积归一化定量,得到牡丹籽油Sn-2位不同脂肪酸含量,并采用1,3-随机-2-随机分布学说计算出甘三酯中Sn-1位、Sn-2位及Sn-3位脂肪酸组成分布,结果见表3。

由猪胰脂酶水解法测定的牡丹籽油Sn-2位脂肪酸分布表明:Sn-2位脂肪酸由棕榈酸、硬脂酸、油酸、亚油酸和亚麻酸组成,其中油酸、亚油酸、亚麻酸不饱和酸含量较高,在96.00%以上,特别是亚麻酸相对

其它油而言含量非常高,达到 23.04%,饱和脂肪酸仅为 3.72%。

表 3 牡丹籽油立体专一分布相对含量 (%)

Table 3 Single-minded distribution relative content of peony seed oil (%)

位置	C16:0/P(%)	C18:0/St(%)	C18:1/O(%)	C18:2/L(%)	C18:3/Ln(%)
Sn-1,2,3	6.11±0.26	1.89±0.001	23.92±0.03	27.58±0.001	40.50±0.11
Sn-2	2.51±0.33	1.21±0.02	42.01±0.62	32.23±0.07	23.04±0.34
Sn-1,3	7.91±0.23	2.23±0.01	14.88±0.28	25.25±0.03	49.23±0.03

根据牡丹籽油立体专一分布,由 Sn-1、Sn-2、Sn-3 位脂肪酸组成分析数据,采用 1,3-随机-2-随机分布学说计算甘三酯组分,公式如下:

$$\%sn-XYZ=[(X \text{ 酸在 sn-1,3 位的摩尔百分含量})(Y \text{ 酸在 sn-2 位的摩尔百分含量})(Z \text{ 酸在 sn-1,3 位的摩尔百分含量})] \times 10^{-4}$$

计算出牡丹籽油中甘三酯的组成见表 4。

表 4 牡丹籽油甘三酯成分质量分数%

Table 4 Triacylglycerol components of peony seed oil%

甘三酯名称	含量/%	甘三酯名称	含量/%	甘三酯名称	含量/%
LnOLn	10.18	PLnLn	1.79	StOL	0.47
LLLn	8.01	OLnL	1.73	LLSt	0.36
LnLLn	7.81	POL	1.68	StOO	0.28
OOLn	6.15	LnLnL	1.47	POP	0.26
LLnLn	5.73	PLL	1.29	StLnL	0.26
LnLnLn	5.58	POO	0.99	StOL	0.21
LOLn	5.22	OOO	0.93	PLP	0.20
OLLn	4.72	StOLn	0.92	StLnO	0.15
OLnL	3.38	PLLn	0.92	POSt	0.15
POLn	3.27	PLO	0.76	PLnP	0.14
OOL	3.16	OLO	0.71	PLSt	0.11
LOL	2.68	StLLn	0.71	PLnSt	0.08
PLLn	2.51	OPLn	0.54	StOSt	0.02
OLL	2.42	OOLn	0.51	StLSt	0.02
LLL	2.05	StLnLn	0.51	StLnSt	0.01

从表 4 结果可以看出牡丹籽油中主要是以棕榈酸、油酸、亚油酸和亚麻酸为主的甘三酯。其中三不饱和脂肪酸甘三酯的含量达到 71.00%以上,一饱和二不饱和脂肪酸甘三酯含量大于 15.00%。而这些甘三酯中以 LnOLn 相对含量最高 10.18%,其次是 LLLn 相对含量 8.01%,比较高的甘三酯还有 LnLLn、OOLn、LLnLn、LnLnLn、LOLn 含量在 5.22~7.81%,其余相对较少,含量小于 5.00%。甘三酯组成除了基因控制外,降水量和日光照射时间等气候条件也会影响各种脂肪酸的含量,从而导致甘三酯组成发生变化^[9]。

2.5 维生素 E 含量的测定

以生育酚浓度(X)对峰面积(y)进行线性回归,得到各标样的标准曲线的方程。按照 1.3.5 分析方法对牡丹籽油中维生素 E 含量进行测定,结合标准曲线方程计算维生素 E 含量,结果见表 5。

表 5 牡丹籽油中维生素 E 的含量

Table 5 Vitamin E content of peony seed oil

名称	含量/(10 ⁻² mg/g)
α-生育酚	1.21±0.02
β-生育酚	-
γ-生育酚	48.42±0.04
δ-生育酚	2.56±0.01
α-生育三烯酚	0.65±0.01
γ-生育三烯酚	3.26±0.02
δ-生育三烯酚	-
总量	56.30

注:表中“-”表示未检测出。

根据牡丹籽油测定的生育酚峰面积,结合标准样进行定量分析。计算出牡丹籽油中维生素 E 的总含量为 0.56 mg/g 除含有少量的 α-生育酚、δ-生育酚 α-生育三烯酚和 γ-生育三烯酚外,主要以 γ-生育酚为主,含量为 0.48 mg/g。在通常条件下,生理活性强弱为:α-生育酚>β-生育酚>γ-生育酚>δ-生育酚,而抗氧化能力为 α-生育酚<β-生育酚<γ-生育酚<δ-生育酚。牡丹籽油中含有较多的 γ-生育酚,也使得牡丹籽油具有一定的抗氧化能力。

2.6 氧化稳定性分析

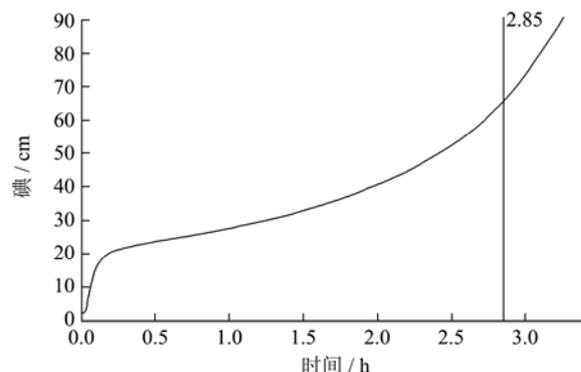


图 2 牡丹籽油氧化稳定性 Rancimat 分析

Fig.2 Rancimat analysis of oxidation stability in peony seed oils

采用 Rancimat743 型氧化酸败仪测定牡丹籽油氧化稳定性, 其氧化诱导期见图 2。

由图 2 可知, 在温度 110 °C, 通气量 20 L/h 条件下, 由 Rancimat743 型氧化酸败仪测定牡丹籽油的氧化诱导时间为 2.85 h, 可见牡丹籽油的氧化稳定性较弱。虽然牡丹籽油中含有较多的 γ -生育酚, 具有较好的抗氧化性能, 但是牡丹籽油中的不饱和酸含量很高, 特别是多不饱和脂肪酸亚麻酸的含量特别多, 这就导致牡丹籽油极易被氧化。因此, 要想延长牡丹籽油的储存期, 需要加入一定量的抗氧化剂。

3 结论

3.1 牡丹籽油的主要脂肪酸组成为棕榈酸、硬脂酸、油酸、亚油酸和亚麻酸, 其中不饱和脂肪酸占 92.00% 左右。除游离脂肪酸外, 牡丹籽油中含有 95.89% 的甘油三酯和 4.11% 的甘油二酯。而甘油三酯 sn-2 位上棕榈酸、硬脂酸的分布很少, 油酸、亚油酸、亚麻酸在 Sn-2、Sn-1 和 Sn-3 位分布都较多, 特别是亚麻酸在 Sn-2 和 Sn-1, 3 的含量是其它油脂无法比拟的, 含量分别为 23.04% 和 49.23%。

3.2 由牡丹籽油立体专一分布相对含量, 得出牡丹籽油中主要是以油酸、亚油酸和亚麻酸为主的甘油三酯。其中三不饱和脂肪酸甘油三酯的含量达到 71.00% 以上, 一饱和二不饱和脂肪酸甘油三酯含量大于 15.00%。这些甘油三酯中以 LnOLn 相对含量最高 10.18%, 其次是 LLLn 相对含量 8.01%, 比较高的甘油三酯还有 LnLLn、OOLn、LLnLn、LnLnLn、LOLn 含量在 5.22%~7.81%, 其余相对较少, 含量小于 5.00%。

3.3 高压液相色谱法测得牡丹籽油中八种生育酚的总含量为 0.56 mg/g, 其中 γ -生育酚的含量较多, 为 0.48 mg/g。Rancimat743 型氧化酸败仪测定牡丹籽油的氧化诱导时间为 2.85 h, 可见牡丹籽油的氧化稳定性较弱, 易被氧化, 不易长期储藏。

参考文献

[1] 赵阳,唐培宇,路英军.超临界 CO₂ 萃取牡丹籽油及应用[J].黑龙江科技信息,2013,17:130-130
Zhao Yang, Tang Pei-yu, Lu Ying-jun. Supercritical CO₂ Extraction and Application of Peony Seed Oil [J]. Heilongjiang Science and Technology Information, 2013, 17:

130-130
[2] 刘建华,程传格,王晓,等.牡丹籽油中脂肪酸的组成分析[J].化学分析计量,2006,15(6):30-31
Liu Jian-hua, Cheng Chuan-ge, Huang Xiao, et al. Analysis of Fatty Acids in *Paonia suffruticosa* Andr seeds [J]. *Chemica Ana Met*, 2006, 15(6): 30-31
[3] 易军鹏,朱文学,马海乐,等.牡丹籽油超声波辅助提取工艺的响应面法优化[J].农业机械学报,2009,40(6):103-110
Yi Ju-peng, Zhu Wen-xue, Ma Hai-le et al. Optimization on Ultrasonic-assisted Extraction Technology of Oil from *Paonia suffruticosa* Andr Seeds with Response Surface Analysis [J]. *Trans Chin Soc AgricMac*, 2009, 40(6):103-110
[4] 翟文婷,朱献标,李艳丽,等.牡丹籽油成分分析及其抗氧化活性研究[J].烟台大学学报:自然科学与工程版, 2013, 26(2): 147-150
Zhai Wen-ting, Zhu Xian-biao, Li Yan-li, et al. Analysis of Peony seed oil composition and Antioxidant activity research [J]. *Journal of Yantai University: Natural Science and Engineering Edition*, 2013, 26(2): 147-150
[5] Balk E M, Lichtenstein A H, Chung M, et al. Effects of omega-3 fatty acids on serum markers of cardiovascular disease risk: a systematic review [J]. *Atherosclerosis*, 2006, 189(1): 19-30
[6] 张萍.牡丹籽油的制备,纯化,成分分析以及功效评价[D].首都师范大学,2009
Zhang Ping. Preparation and Purification and Componential Analysis and Efficacy Evaluation of oil from Peony seeds [D]. Beijing: Capital Normal University, PhD. 2009
[7] 李桂华.油料油脂检验与分析[M].化学工业出版社,2006
Li Gui-hua. Fuel oil testing and analysis [M]. Chemical Industry Press, 2006
[8] 孙曙庆.油脂氧化稳定性的研究[J].食品与发酵工业, 1998, 25(3):20-22
Sun Shu-qing. Study on oxidative stability of fats and oils [J]. *Food and Fermentation Industries*, 1998, 25(3): 20-22
[9] Beatrice A Were, Augustino O Onkware, Samuel Guduet al. Seed oil content and fatty acid composition in East African sesame (*Sesamum indicum* L.) accessions evaluated over 3 years [J]. *Field Crops Research*, 2006, 97(2-3): 254-260